

EFEKTY EKONOMICZNE ZASTOSOWANIA KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH W DOMU JEDNORODZINNYM

K. Gaj¹, A. Pakuluk¹

1. Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Wroclawska, Polska

STRESZCZENIE

Przedstawiono analizę efektów finansowych wynikających z zastosowania kolektorów słonecznych do podgrzewania wody użytkowej w budownictwie jednorodzinym. Artykuł zawiera wyniki obliczeń zapotrzebowania na ciepło, kosztów uzyskania jednostki ciepła, oszczędności rocznych z tytułu zastosowania kolektorów oraz okresu zwrotu nakładów poniesionych na dwie alternatywne instalacje słoneczne, uzyskane dla typowego domu jednorodzinego, budowanego aktualnie pod Wrocławiem. Na ich podstawie dokonano oceny opłacalności inwestycji w kolektory względem tradycyjnych systemów podgrzewania wody użytkowej. Wyniki tej oceny wykazały pilną potrzebę finansowego wsparcia inwestorów indywidualnych ze środków publicznych.

WSTĘP

Koncepcja zrównoważonego rozwoju wymusza oszczędne gospodarowanie surowcami naturalnymi i energią, w tym zmniejszenie ich zużycia oraz inwestowanie w źródła odnawialne. Szczególnie istotna jest oszczędność energii w budownictwie, gdyż wg Dyrektywy Parlamentu Europejskiego (2003) ponad 40% jej zużycia w Unii Europejskiej przypada na sektor mieszkaniowo-usługowy (przy tendencji wzrostowej). Jednym ze sposobów wykorzystania źródeł odnawialnych jest wyposażenie domowych instalacji grzewczych w kolektory słoneczne, w których zachodzi konwersja promieniowania słonecznego na ciepło. Może ono być wykorzystane w naszej szerokości geograficznej zwłaszcza do podgrzewania wody użytkowej, stanowiąc uzupełnienie tradycyjnego źródła ciepła.

Racjonalna decyzja o inwestycji powinna być oparta na ocenie opłacalności dokonanej na podstawie rzetelnych informacji o kosztach i zyskach wynikających z zastosowania kolektorów. Jest to o tyle istotne, że w materiałach reklamowych i popularyzatorskich publikacjach są zwykle pomijane istotne – poza energią elektryczną – koszty ich eksploatacji.

Uzyskane wyniki i przedstawione analizy mogą być pomocne dla projektantów i inwestorów indywidualnych przy rozważaniu celowości wyposażenia instalacji przygotowania c.w.u. w kolektory słoneczne.

METODYKA OCENY OPLACALNOŚCI

Do przeprowadzenia analizy opłacalności kolektorów słonecznych niezbędna jest znajomość parametrów charakterystycznych instalacji, które pozwalają na wyliczenie spodziewanych efektów pracy i porównanie urządzeń. Rodzaje tych parametrów i sposób ich określania podają normy PN-EN 12975 (2007). Najważniejszą cechą kolektora jest jego sprawność, definiowana jako stosunek energii odprowadzonej przez płyn przenoszący ciepło w określonym przedziale czasu do iloczynu pola powierzchni kolektora i napromieniowania w warunkach stanu ustalonego. Sprawność optyczna oznacza najwyższą sprawność kolektora, która wynika z jego konstrukcji i oznacza maksymalną zdolność do absorpcji energii słonecznej.

W niniejszym artykule efekty ekonomiczne zastosowania kolektorów określono na podstawie porównania instalacji wyposażonej w kolektory słoneczne z instalacją opartą na tradycyjnym urządzeniu grzewczym. Do oceny opłacalności inwestycji zastosowano wskaźnik SPBT (*Simply Pay Back Time*), który określa czas potrzebny do odzyskania nakładów inwestycyjnych poniesionych na uruchomienie instalacji oraz analogiczny wskaźnik PBT (*Pay Back Time*), uwzględniający wzrost cen energii i paliw. Przeprowadzona ocena oparta została na porównaniu kosztów inwestycyjnych z szacowanymi oszczędnościami, które zależą od ilości energii uzyskanej z kolektorów w ciągu roku oraz ceny jednostki ciepła.

W przypadku wskaźnika SPBT czas zwrotu nadwyżki kosztów instalacji z kolektorami słonecznymi wobec kosztów instalacji wyposażonej w ogrzewacz wyznaczono na podstawie zależności:

$$SPBT = \frac{K_{is} - K_o}{Q_{kr} \cdot K_j - (K_p + K_s + K_a)} \quad (1)$$

Wskaźnik PBT obliczono przy założeniu wzrostu cen paliw i energii na poziomie 6 % rocznie, przyjmując 20 letni czas eksploatacji kolektorów. Podobnie jak SPBT zależy on od kosztów inwestycyjnych kolektorów słonecznych, ceny tradycyjnego ogrzewacza i rocznych oszczędności wynikających z zastosowania kolektorów. W przypadku PBT średnie oszczędności roczne zwiększają się z każdym rokiem, co wynika ze wzrostu cen energii elektrycznej lub paliwa. Zaproponowano matematyczny zapis wskaźnika PBT:

$$PBT = \frac{K_{is} - K_o}{\frac{\sum_{i=1}^{20} [(1,06)^{i-1} (Q_{kr} \cdot c_1 + K_{st} - P_p \cdot 10^{-3} \cdot \tau \cdot d_1)]}{20} - (K_s + K_a)}, \quad (2)$$

Opłacalność przeanalizowano również na podstawie wyników obliczeń kosztów uzyskania jednostki ciepła za pomocą różnych systemów grzewczych i paliw.

DOBÓR KOLEKTORÓW

Dobrano dwa rozwiązania typowych systemów z kolektorami słonecznymi, przeznaczonych do podgrzewania wody użytkowej. Systemy wyposażone były alternatywnie w kolektory płaskie lub próżniowo-rurowe oferowane przez dwie wiodące w tej dziedzinie firmy. Podstawą doboru elementów instalacji było roczne zapotrzebowanie na ciepło oraz dane z ogólnodostępnych ofert tych firm. Obliczenia zapotrzebowania mocy wykonano na przykładzie aktualnie budowanego domu jednorodzinnego w Szewcach k. Wrocławia. Jest to typowy dom wolnostojący, parterowy z użytkowym poddaszem, przeznaczony dla 4 osobowej rodziny (powierzchnia użytkowa - 151 m², kubatura - 664 m³). Dom posiada dach dwuspadowy o jednej połaci skierowanej na południe (rys. 1).



Rys. 1. Widok analizowanego domu (10.06.2009)

Zakładając średnie dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę na mieszkańca – 50 dm³ (VDI 2067), temperaturę ciepłej wody – 45°C oraz temperaturę zimnej wody – 10°C, roczne zapotrzebowanie na moc cieplną do podgrzania wody wyniesie 2965 kWh. Przy założeniu realnego w warunkach polskich 60% pokrycia rocznego zapotrzebowania na ciepło przez kolektory, powinny one dostarczyć Q_{kt} = 1779 kWh ciepła. Wielkość tą przyjęto za podstawę wstępnego doboru kolektorów słonecznych. Do obliczeń przyjęto roczne napromieniowanie (q_r) na poziomie 1103 kWh(m²a)⁻¹ wg danych najbliższej stacji aktynometrycznej w Legnicy.

Kolektory płaskie

Zapotrzebowanie na powierzchnię absorbera w przypadku płaskiego kolektora o średniorocznej sprawności η_k = 40% i powierzchni pojedynczego absorbera w zestawie 2,32 m² wynosi:

$$Q_{kt} \cdot (q_r \cdot \eta_k)^{-1} = 4,03 \text{ m}^2$$

Na tej podstawie przyjęto dwa kolektory j.w., które zapewnić powinny rzeczywisty roczny uzysk energetyczny na poziomie Q_{kr} = 2047 kWh (co stanowi 69% pokrycia zapotrzebowania).

Kolektory próżniowo-rurowe

W przypadku kolektorów próżniowo-rurowych minimalny, gwarantowany przez producenta, roczny uzysk energii z 1 m² absorbera wynosi 525 kWh, a powierzchnia pojedynczego absorbera w zestawie – 1,93 m². W oparciu o te dane przyjęto dwa kolektory j.w. Zapewnić one powinny rzeczywisty roczny uzysk energetyczny na poziomie Q_{kr} = 2027 kWh, co odpowiada 68% pokryciu zapotrzebowania.

DOBÓR TRADYCYJNYCH URZĄDZEŃ GRZEWCZYCH

Rozpatrzono konwencjonalne ogrzewacze przepływowe zasilane energią elektryczną, gazem ziemnym lub gazem płynnym LPG, oraz elektryczny podgrzewacz pojemnościowy (tab. 1). W dalszej części artykułu przeanalizowano również wykorzystanie kotła c.o. do podgrzewania wody. Zakładając pięć punktów poboru c.w.u. w analizowanym domu, dobrano trzy alternatywne sposoby tradycyjnego podgrzewania wody:

- przepływowy ogrzewacz elektryczny o mocy 24 kW (zużycie energii dostosowuje się automatycznie do wielkości poboru wody i ustawionej temperatury);
- przepływowy ogrzewacz gazowy o mocy 24,4 kW, sprawności cieplnej 88,5%, z zamkniętą komorą spalania;
- ogrzewacz pojemnościowy o zakresie mocy 2-6 kW i pojemności 200 dm³.

Dobrane urządzenia, wraz z ceną zakupu i wynikami obliczeń rocznych kosztów eksploatacyjnych przy zastosowaniu różnych nośników energii zestawiono w tabeli 1. Ceny jednostkowe rozpatrywanych nośników energii zawarto w tabeli 2. Wszystkie ceny pochodzą z II kwartału 2009.

Tabela 1. Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne ogrzewaczy wody, PLN

Rodzaj urządzenia	Cena brutto (22%VAT)	Roczne koszty eksploatacyjne, PLN			
		Energia elektryczna		Gaz ziemny E	Gaz płynny LPG – propan techniczny
		Taryfa G11	Taryfa G12 – strefa nocna		
Przepływowy ogrzewacz elektryczny	828	1461	822	-	-
Przepływowy ogrzewacz gazowy	4700 ^a	-	-	700	1191
Ogrzewacz pojemnościowy firmy	5100	1461	822	-	-

a – cena uwzględnia zbiornik na LPG

OPŁACALNOŚĆ ZAKUPU I MONTAŻU INSTALACJI KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

Instalacja wyposażona w kolektory płaskie

Oferowana na lokalnym rynku cena kompletnej instalacji, wyposażonej w dwa kolektory płaskie, biwalentny podgrzewacz wody, zestaw pomiarowo-pompowy z pompą obiegową o mocy 60 W i regulator, wraz z montażem, wynosi brutto, tj z 7 % VAT, 12999 PLN (maj 2009). Koszt podgrzewania wody, przy założeniu czasu pracy pompy obiegowej 1000 h/a, 5 letniego okresu pracy płynu grzewczego i anody oraz objętości płynu 30 dm³ wyniesie:

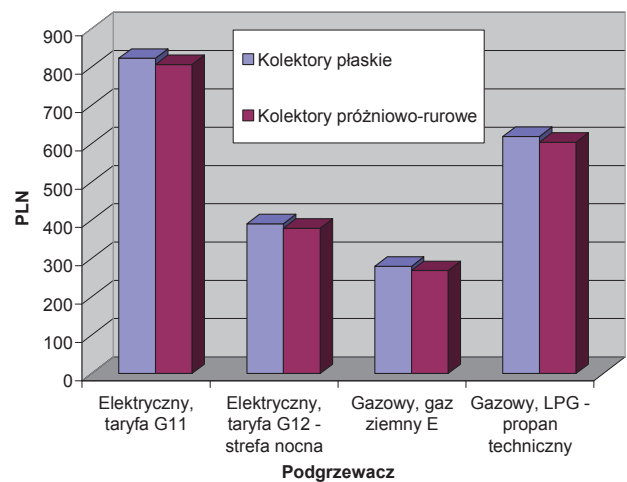
$$K_p + K_s + K_a = 0,06 \cdot 10^3 \cdot 0,4737 + 0,2 \cdot 521,4 + 0,2 \cdot 350 = 203 \text{ PLN/a. Średnioroczny koszt uzyskania 1 kWh wyniesie zatem: } K_j = 0,099 \text{ PLN/kWh.}$$

Instalacja wyposażona w kolektory próżniowo-rurowe

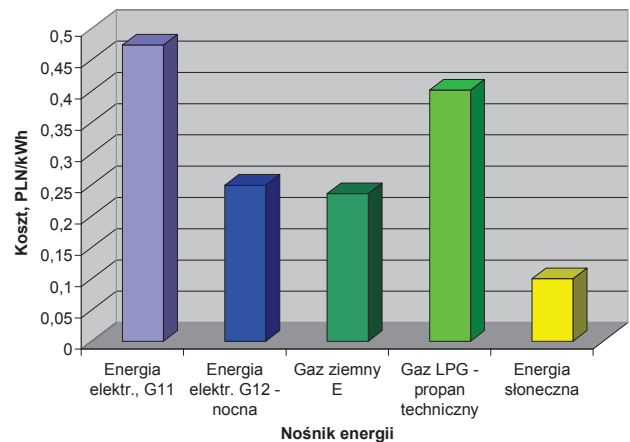
Oferowana przez inną firmę na tym samym rynku i w okresie jw. cena kompletnej instalacji, wyposażonej w dwa kolektory rurowe próżniowe, biwalentny podgrzewacz wody, zestaw pomiarowo-pompowy z pompą obiegową i regulator, wraz z montażem, wynosi brutto, tj z 7 % VAT, 12000 PLN. Koszt podgrzewania wody, przy założeniach analogicznych jak w przypadku instalacji z kolektorami płaskimi wyniesie:

$$K_p + K_s + K_a = 0,06 \cdot 10^3 \cdot 0,4737 + 0,2 \cdot 705 + 0,2 \cdot 200 = 209 \text{ PLN/a. Średnioroczny koszt uzyskania 1 kWh wyniesie zatem: } K_j = 0,103 \text{ PLN/kWh.}$$

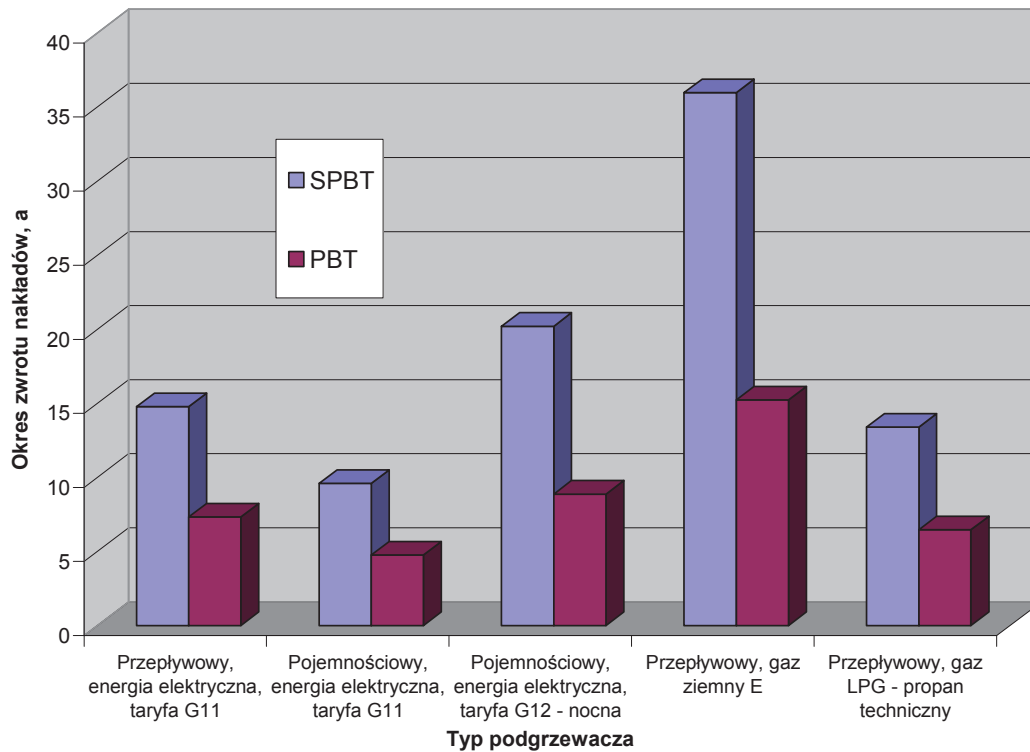
Wyniki obliczeń oszczędności eksploatacyjnych, jakie przyniesie zastosowanie kolektorów względem tradycyjnych podgrzewaczy (przy zastosowaniu różnych nośników energii) przedstawiono na rys. 2, koszty uzyskania 1 kWh – na rys. 3 a okres zwrotu nakładów na system z kolektorami płaskimi – na rys. 4. Ceny jednostkowe nośników energii i wartości opałowe paliw zestawiono w tabeli 2.



Rys. 2. Roczne oszczędności z tytułu zastosowania kolektorów względem podgrzewaczy



Rys. 3. Koszty jednostkowe podgrzewania wody



Rys. 4. Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych na system z kolektorami słonecznymi w odniesieniu do kosztów tradycyjnych podgrzewaczy

KOSZTY PODGRZEWANIA WODY ZA POMOCĄ TRADYCYJNYCH KOTŁÓW I KOLEKTORÓW SŁONECZNYCH

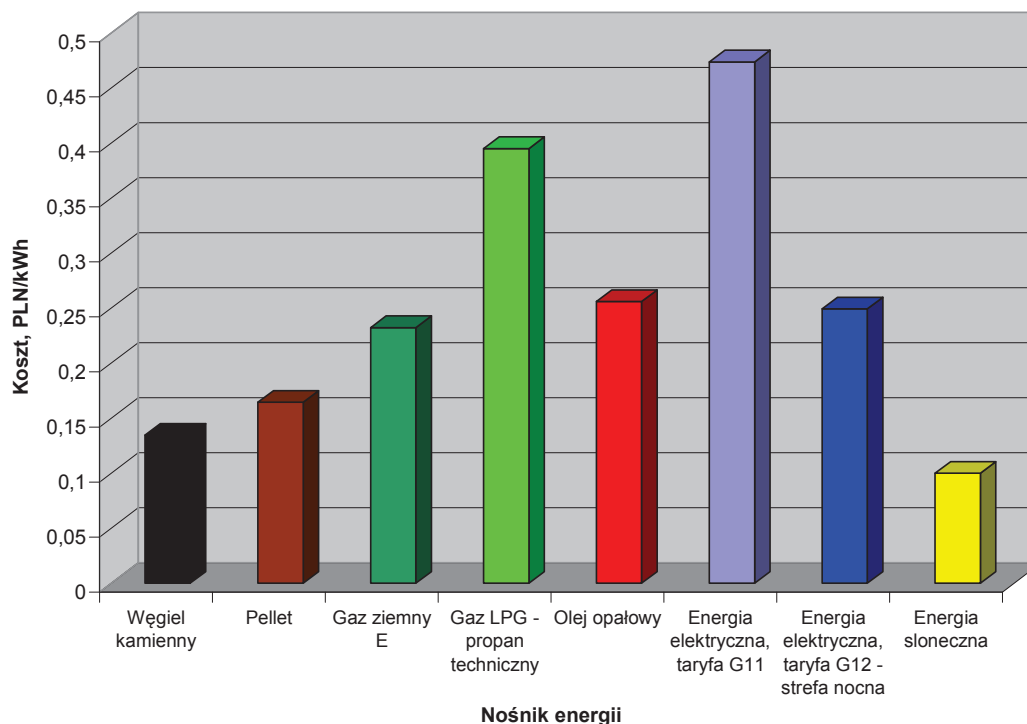
W analizie uwzględniono koszty paliw lub energii elektrycznej dotyczące różnych systemów grzewczych (tab. 2) oraz opisane wcześniej koszty użytkowania dobranych kolektorów. Koszty roczne podgrzewania wody porównano graficznie na rys. 5.

Tab. 2. Jednostkowe koszty podgrzewania wody dla różnych systemów grzewczych i paliw

Paliwo / system grzewczy	Cena jednostkowa*	Wartość opału	Sprawność cieplna kotła	K _j
			%	PLN/kWh
Węgiel kamienny typ 31, klasa 25/050/06/ kocioł stalowy z paleniskiem retortowym, 22kW	0,84 PLN/kg	26,0 MJ/kg	86,4	0,1346
Pellet drewniany, granulaty 8-20 mm / kocioł jw.	0,75 PLN/kg	19,0 MJ/kg	86,4	0,1645
Gaz LPG / gazowy kocioł grzewczy wiszący, 10-25 kW	9,38 PLN/m ³	95,0 MJ/m ³	90	0,3950
Gaz ziemny E, kocioł jw.	1,80 PLN/m ³	31,0 MJ/m ³	90	0,2323
Olej opałowy lekki o zawartości siarki < 0,2%/ niskotemperaturowy żeliwny kocioł grzewczy, 22 kW	2,71 PLN/kg	42,7 MJ/kg	89	0,2560
Energia elektryczna - taryfa G11	0,4737** PLN/kWh	-	100	0,4737
Energia elektryczna - taryfa G12 – strefa nocna	0,2494** PLN/kWh	-	100	0,2494
Wartość uśredniona dla kolektorów płaskich i rurowo-próżniowych	-	-	-	0,10

*- ceny z kwietnia 2009,

** - do obliczeń kosztów rocznych dodano stałe opłaty za licznik i przesył.



Rys. 5. Koszty roczne podgrzewania wody za pomocą kotłów i kolektorów słonecznych (założono 100% pokrycia potrzeb ciepłych przez wszystkie nośniki energii)

WNIOSKI

Analizując wskaźnik SPBT najkorzystniej wypada porównanie kolektorów słonecznych z elektrycznym ogrzewaczem pojemnościowym (taryfa G11). Prosty czas zwrotu nakładów wynosi ok. 10 lat. W przypadku ogrzewacza przepływowego zasilanego energią elektryczną (G11) i gazem LPG czas ten wydłuża się odpowiednio o 5 i 4 lata. Najmniej atrakcyjna ekonomicznie jest instalacja słoneczna w porównaniu z systemem przepływowym na gaz ziemny. Prosty czas zwrotu nakładów przekracza blisko dwukrotnie przewidywany czas użytkowania kolektorów. Przy 6 % rocznym wzroście cen nośników energii, analiza wskaźnika PBT wskazuje, że inwestycja w kolektory słoneczne zwróci się już po 5 latach w porównaniu do ogrzewacza elektrycznego pojemnościowego (taryfa G11). W przypadku ogrzewacza przepływowego zasilanego energią elektryczną G11 lub gazem LPG czas zwrotu nakładów wyniesie ok. 7 lat.

Porównując koszty eksploatacyjne podgrzewania wody za pomocą kolektorów słonecznych i tradycyjnych kotłów, w stosunku do kotła zasilanego energią elektryczną w taryfie G11, uzyskać można następujące zmniejszenie kosztów: o 17% w przypadku zastosowania gazu LPG, o 47% - taryfy G12 (strefa nocna), o 46% - oleju opałowego, o 51% - gazu ziemnego E oraz odpowiednio: o 65, 72 i 79% w przypadku pelletu, węgla kamiennego i instalacji z kolektorami słonecznymi, przy czym koszt 1 kWh uzyskanej z kolektorów stanowi 74% kosztów 1 kWh

uzyskanej ze spalania węgla kamiennego. Uzyskane relacje świadczą o błędnej polityce fiskalnej Państwa w tym zakresie.

Wg publikacji GUS (2009), w Polsce w 2007 r. 7,1 % energii pochodziło ze źródeł odnawialnych, w czym energia słoneczna miała znikomy udział. Zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w pozyskaniu energii do 7,5 % w 2010 r. i 14 % w 2020 r. wymaga wsparcia ze środków publicznych. Inwestycje proekologiczne w zakresie energetyki mogą uzyskać wsparcie z programów pomocowych (np. Program Operacyjny Infrastruktura i Środowisko, Regionalny Program Operacyjny, Program Rozwoju Obszarów Wiejskich). Beneficjentami środków z powyższych programów mogą być gminy, zakłady gospodarki komunalnej, przedsiębiorstwa i instytucje. Dotacje przewidziane są na duże inwestycje, jak np. budowa elektrowni czy instalacji do produkcji biopaliw. Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oferuje dotacje na zakup i montaż kolektorów słonecznych, pomp ciepła, ogniw fotowoltaicznych, kotłów na biomasę dla przedsiębiorstw, instytucji i osób fizycznych prowadzących działalność gospodarczą. Inwestorzy indywidualni mogą liczyć jedynie na kredyty preferencyjne lub drobne dotacje samorządowe.

SPIS SYMBOLI

c_1	cena jednostki energii z danego nośnika dla roku uruchomienia instalacji	PLN(kWh) ⁻¹
d_1	cena jednostki energii elektrycznej dla roku uruchomienia instalacji	PLN(kWh) ⁻¹
i	rok użytkowania kolektorów słonecznych	^a
K_a	koszt ochronnej anody magnezowej (wymiana co 5 lat)	PLN a ⁻¹
K_{is}	koszt instalacji z kolektorami słonecznymi	PLN
K_j	cena jednostkowa ciepła	PLN(kWh) ⁻¹
K_o	koszt ogrzewacza	PLN
K_p	koszt energii elektrycznej pobranej przez pompę obiegową	PLN a ⁻¹
K_s	koszt płynu grzewczego (wymiana co 5 lat)	PLN a ⁻¹
K_{st}	roczne opłaty stałe za licznik i przesył energii elektrycznej (taryfa G11: $K_{st}=12 \cdot (4,25+0,44)$, taryfa G12: $K_{st}=12 \cdot (6,47+0,44)$)	PLN a ⁻¹
P_p	moc pompy obiegowej	W
q_r	roczne napromieniowanie	kWh(m ² a) ⁻¹
Q_{kt}	teoretyczny uzysk ciepła z kolektorów	kWh a ⁻¹
Q_{kr}	rzeczywisty uzysk ciepła z kolektorów	kWh a ⁻¹
τ	czas pracy pompy	h
η_k	średnioroczna sprawność kolektorów	%

LITERATURA CYTOWANA

Berent-Kowalska G., Kacprowska J., Kacperczyk G., Jurgaś A., 2009, *Energia ze źródeł odnawialnych w 2008 r.*, GUS, Warszawa

Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy of performance of buildings, Official Journal of the European Communities, L1/65, 2003

Guideline VDI 2067, 1983, *Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen*, VDI Guidelines 2067-1

Technological and Economic Fundamentals, VDI-Verlag GmbH (Ed.), Düsseldorf, Germany

PN-EN 12975-1, 2007, *Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy. Kolektory słoneczne. Cz. 1- Wymagania ogólne*

PN-EN 12975-2, 2007, *Słoneczne systemy grzewcze i ich elementy. Kolektory słoneczne. Cz. 2- Metody badań*